参赛队员：马浩程、李寅晓

所属学校：清华大学附属中学

所在地区：中华人民共和国，北京市

指导教师：周建军

论文标题：地图投影变换在全球一张图量算中的应用

地图投影变换在全球一张图量算中的应用

摘要：

我国常用的大比例尺地形图采用的高斯--克吕格投影，无法实现相邻图幅地图的无缝拼接，而墨卡托投影特别是 web 墨卡托投影能实现拼接，但却有较大的的量算误差。如何在全球一张图框架下，结合两种投影的优点，采用地图投影变换的方法，实现全球一张图框架地形图应用中的精确量算是本文的研究目标。

为了证明通过地图投影变换的方法确实可以极大地减小误差，首先在 ArcMap 中构建模拟数据，然后分别在不同纬度（0°-4°、30°-34°、60°-64°）和不同经度(120°-126°) 计算了面积、长度、角度三种指标的误差，并对误差分布在 ArcMap 中以分级的方式进行了可视化表达。结论表明：利用 web 墨卡托投影可无缝拼接多幅地形图，同时采用地图投影变换原理在高斯坐标空间中进行距离、面积的量算是完全可行的。这种实现方式结合了两种不同投影的优点，具有一定的应用价值，此方法已在某项目中应用。

The Application of Map Projection Transformation in One Map Global Framework Measurement

Abstract: Commonly, the large scale topographic map in our country uses Gauss - Kruger projection. It is unable to produce the seamless mosaic between adjacent mapsheets. While the Mercator projection, especially web Mercator projection can solve this, but has large measuring error. The goal of this paper is how to take the advantages of both kinds of projections in one map global framework, and using the method of map projection transformation, to approach the accurate measurement in topographic map applications of the global map.

It can greatly reduce the error with map projection transformation. To verify this, it is essential to build simulation data in ArcMap. Then calculating the area, length, and angle errors of three indicators in different latitude (0°- 4°,30°- 34°,60°- 64°) and longitude (120° - 126°), the error distribution should be in a hierarchical way of visual expression in ArcMap. Conclusion shows that using web Mercator can mosaic multi-maps seamlessly. Meanwhile, it is feasible to measure distance, area and angle in Gauss coordinate, by using map projection transformation principles. This method takes advantages of both two projections, which has certain application value and has already been applied in a project.

一、概述

在全球各个国家、各个地区联系日益紧密的今天，深入了解我们生活的地球成为一种必然的潮流，一幅地图便成为了非常简便、直观地了解我们周围的方式。早在 1998 年，美国时任副总统戈尔就提出了数字地球的概念，强调将全球各地区的地理数据整合在一起，这一概念在当今世界已经被广泛接受，人们对全球一张图的需求越来越迫切。

简单地说，科技工作者在测绘和编绘地图时，需要通过数学方法将椭球面上各点表示在平面上而成为地图。假如测区面积很小，在半径小于一定的范围内时，可以不考虑地球曲率，直接把这样小的曲面当做平面处理。这样测制的地图称之为平面图。如果制图区域是超过上述面积的任一地区以至全球，则必须将地球表面作为椭球面处理。但是不论椭球面还是球面，都是不可展曲面。如果把一个不可展曲面强行压平，就好像把一个乒乓球切开压平一样，必须产生断裂和重叠。如此就不能获得完整而连续的地球表面的平面图形，当然也就不符合人们对地图的要求。为了解决地图平面与地球曲面间的这对矛盾，经过不断的实践，人们终于寻求到地图投影这一科学方法。使用地图投影，可以将地球表面完整的表示在平面上，但是是通过对投影范围内某一区域的均匀拉伸和对另外一区域内的均匀缩小实现的。

目前的现状是：在统一的地理框架下，无法实现多比例尺的全球一张图表达。我国现今的 1:500000 及更大比例尺的地形图统一采用高斯-克吕格投影，这种投影方式的使用，使相邻地区的两张地形图无法无缝拼接，不能满足全球一张图的需求；墨卡托投影特别是 web 墨卡托投影可以实现无缝拼接，即制作全球一张图，但其量算不精确。本文重点研究地图投影变换在全球一张图量算中的应用，为最终实现全球一张图框架下的地理信息服务奠定基础。

二、基本概念

1．地图

地图就是依据一定的数学法则，使用制图语言，通过制图综合，在一定的载体上，表达地球（或其他天体）上各种事物的空间分布、联系及时间中的发展变化状态的图形。

2．地形图

地形图是地图的一种，它着重表现一个地区的地形，是一种地表起伏形态和地物位置、形状在水平面上的投影图。

地形图在军队和民间都有非常广泛的应用。现今的地形图一般以纸质为主，比例尺一般采用国家的几种基本比例尺（1：5000，1：10000，1：25000，1：50000，1：100000，1：250000，1：500000，1：1000000）

3．地图投影

地图投影是利用一定数学方法则把地球表面的经、纬坐标转换到平面上的理论和方法。其大体分为几何透视法和数学解析法两种。

几何透视法是利用透视的关系，将地球体面上的点投影到投影面上的一种投影方法。这是一种比较原始的投影方法，有很大的局限性，难于纠正投影变形，精度较低。

数学解析法是在球面与投影面之间建立点与点的函数关系，通过数学的方法确定经纬线交点位置的一种投影方法。

因此，数学解析法比几何透视法更加精确，后文中应用的高斯-克吕格投影及墨卡托投影的公式都属于数学解析法。

4．高斯-克吕格投影

高斯-克吕格投影又称“等角横切圆柱投影”。假想用一个椭圆柱横切于地球椭球体的某一经线上，这条与椭圆柱面相切的经线，称中央经线。以中央经线为投影的对称轴，将东西各 3°或 1°30′的两条子午线所夹经差 6°或 3°的带状地区按数学法则、投影法则投影到圆柱面上，再展开成平面，这种方法叫做高斯-克吕格投影。

5. 墨卡托投影

墨卡托投影，又称“等角正切圆柱投影”。假想一个与地轴方向一致的圆柱切于或割于地球，按等角条件，将经纬网投影到圆柱面上，将圆柱面展为平面后，即得本投影。墨卡托投影可以保证投影对象的形状不变形，并且使得经线和纬线都为平行直线且经纬线互相垂直。

6. web 墨卡托投影

web 墨卡托投影与常规墨卡托投影的主要区别就是把地球模拟为球体而非椭球体，它是 Google Maps、Virtual Earth 等网络地理信息服务所使用的地图投影。有计算简单便捷的优点。

7. 地图投影变换

当地图所使用的数据来自不同地图投影的图幅时，需要将一种投影的几何数据转换成所需投影的几何数据，这就是地图投影变换，其实质是建立两坐标系之间的一一对应关系。

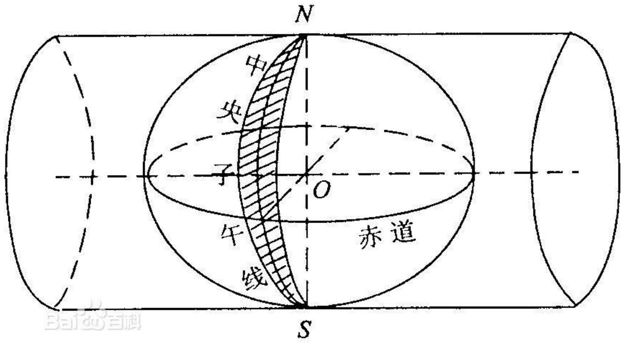
8.ArcMap

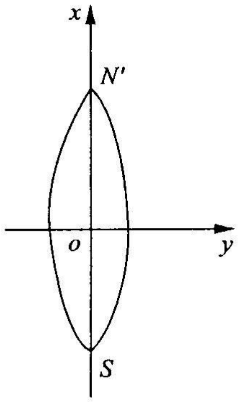
ArcMap 是 ArcGIS Desktop 三个用户桌面组件之一。ArcGIS 是美国环境系统研究所于 1978 年开发的 GIS 系统。ArcMap 是一个可用于数据输入、编辑、查询、分析等等功能的应用程序，具有基于地图的所有功能，实现如地图制图、地图编辑、地图分析等功能。

三、数学原理

在提到这两种数学解析法投影应用的公式之前，需要解释正解公式和反解公式的概念。正解公式即是将地理坐标（经纬度）转化为数学平面坐标（如平面直角坐标系坐标）的公式。反解公式则相反，它是将数学平面坐标（如平面直角坐标系坐标）转化为地理坐标（经纬度）。

3.1．高斯-克吕格投影





3.1.1 公式：

a. 高斯-克吕格投影正解公式

$$X_N = k_0\{M + NtgB[\frac{A^2}{2} + (5 - T + 9C + 4C^2)\frac{A^4}{24}] + (61 - 58T + T^2 + 270C - 330TC)\frac{A^6}{720}\}$$

$$Y_E = FE + k_0 N[A + (1 - T + C)\frac{A^3}{6} + (5 - 18T + T^2 + 14C - 58TC)\frac{A^5}{120}]$$

$$T = tg^2 B$$

$$C = e'^2 \cos^2 B$$

$$A = (L - L0)\cos B$$

$$M = a[(1 - \frac{e^2}{4} - \frac{3e^4}{64} - \frac{5e^6}{256})B - (\frac{3e^2}{8} + \frac{3e^4}{32} + \frac{45e^6}{1024})\sin 2B + (\frac{15e^4}{256} + \frac{45e^6}{1024})\sin 4B - \frac{35e^6}{3072}\sin 6B]$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 * \sin^2 B}} = \frac{(a^2/b)}{\sqrt{1 + e'^2 * \cos^2 B}}$$

b. 高斯-克吕格投影反解公式

$$B = B_f - \frac{N_f tgB_f}{R_f}[\frac{D^2}{2} - (5+3T_f+C_f-9T_fC_f)\frac{D^4}{24} + (61+90T_f+45T_f^2)\frac{D^6}{720}]$$

$$L = L0 + \frac{1}{\cos B_f}[D - (1+2T_f+C_f)\frac{D^3}{6} + (5+28T_f+6C_f+8T_fC_f+24T_f^2)\frac{D^5}{120}]$$

$$N_f = \frac{(a^2/b)}{\sqrt{1+e'^2 * \cos^2 B_f}} = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 * \sin^2 B_f}}$$

$$R_f = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 * \sin^2 B_f)^{3/2}}$$

$$B_f = \varphi + (3e_1/2 - 27e_1^3/32)\sin 2\varphi + (21e_1^2/16 - 55e_1^4/32)\sin 4\varphi + (151e_1^3/96)\sin 6\varphi$$

$$e_1 = \frac{1-b/a}{1+b/a}$$

$$\varphi = \frac{M_f}{a(1-e^2/4-3e^4/64-5e^6/256)}$$

$$M_f = (X_N - FN)/k_0$$

$$T_f = tg^2 B_f$$

$$C_f = e'^2 \cos^2 B_f$$

$$D = \frac{Y_E - FE}{k_0 N_f}$$

式中：a-长半轴长：6378137m

b-短半轴长：6356752.3142m（a,b 均为 WGS 84 中规定取值）

L,B-为计算点的经纬度坐标（L 经度，B 纬度）

YE, XN -计算点的平面坐标

L0-中央经线经度

k0-比例因子，高斯-克吕格投影中取 1

e-第一偏心率

e’-第二偏心率

N-卯酉圈曲率半径

l-计算点大地经度与中央经线经度之差

Bf-底点纬度，又称垂足纬度

Nf-对应于 Bf 的卯酉圈曲率半径

Mf-对应于 Bf 的子午圈曲率半径

FE-东伪偏移量

3.1.2 特性

设想一个椭圆柱横套在地球椭球外面，并与某一条经线相切（此条经线称为中央经线），椭圆柱中心轴通过椭球中心。投影后，以中央经线作 X 轴，以赤道投影作 Y 轴。

通过此种方法获得的投影基本没有角度变形。为了限制长度以及面积变形，通常采用 3 °或 6 °分带的方法，即在中央经线两侧取 1°30’或 3 °的范围进行投影；然而，比 6 °分带更大的范围内，高斯-克吕格投影的长度以及面积变形，将随着距中央经线距离的增长而越来越大，而且变形的变化率也是非常高的。

3.1.3 高斯-克吕格投影无法实现无缝拼接的原因

高斯-克吕格投影由于存在着“距中央经线距离越远，变形越大”的特性，为了控制误差，我们只能采用 3 °和 6 °分带的方法来控制变形。可以说，在 3 °和 6 °范围内长度、面积和角度变形极小是高斯-克吕格最大的优势所在。但正是因为这样的原因，高斯-克吕格投影才不能实现无缝拼接：即便是地球上相同的一点，在不同中央经线（即不同中央经线的分带）的高斯-克吕格投影中转化为的平面坐标也是不同的，原因在于不同中央经线的高斯-克吕格投影坐标系不统一，而坐标系不统一自然也就无法把两张高斯-克吕格投影的地形图拼接或整合为一张地形图，这便是高斯-克吕格投影的缺陷。

3.2．web 墨卡托投影

3.2.1 公式

a.web 墨卡托投影正解公式

$$E = FE + R(\lambda - \lambda o)$$

$$N = FN + R\ln[\tan(\pi / 4 + \varphi / 2)]$$

b.web 墨卡托投影反解公式

$$D = -(N - FN) / R = (FN - N) / R$$

$$\varphi = \pi / 2 - 2\mathrm{atan}(\mathrm{e}^{D})$$

$$\lambda = [(E - FE) / R] + \lambda o$$

式中：φ,λ-计算点的经纬度坐标（λ 经度，φ 纬度）

E,N-计算点的平面坐标（实际上就代表 X 与 Y）

λ0-标准纬线纬度

e-自然对数基底

R-球体半径，取 6378137m（即长半轴长）

3.2.2 特性

web 墨卡托投影可以认为是常规墨卡托投影的一种简化版本。它较之常规墨卡托投影有着计算更加简便快速的优点，然而也有着因此带来的变形加大的缺点。

web 墨卡托投影的长度和面积变形都会随着标准纬线向两级逐渐加大，并且在两极地区面积与长度变形会趋近于无穷大，因此在两极地区一般会采用其他投影，在此不再赘述。至于角度变形，墨卡托投影本身是一种等角投影，然而 web 墨卡托投影却因为把地球简化为球体而产生了角度变形。

3.2.3web 墨卡托投影可以实现无缝拼接的原因

web 墨卡托投影并不需要像高斯-克吕格投影一样分带，无论是否加入两极变形巨大的部分，只要是同一条标准纬线，web 墨卡托投影就一定是在同一坐标系下进行的，而在同一坐标系下进行的投影无论是删减、拼接或整合都是可以完美实现的。

四．两种变换的过程

4.1 全球一张图中应用投影变换的原因

为什么要在全球一张图中使用投影变换？从前文的介绍不难发现，web 墨卡托投影较为适合制作全球一张图，但是却苦恼于其无法解决高纬度变形的问题，我认为地图投影投影变换在这其中非常适用，原因有两点：

一、高斯-克吕格投影具有等角特性以及它的小范围内面积和长度变形小的特性。如果将 web 墨卡托投影变换为高斯-克吕格投影进行量算，势必可以大大提升其准确性。

二、我国 1:500000 及更大比例尺地图均采用高斯-克吕格投影，如此充足的数据如果转化为 web 墨卡托投影以实现无缝拼接，势必可以让这些数据的到充分的利用。

4.2 地图投影变换在全球一张图量算中的应用

4.2.1.地图投影变换在面积量算中的应用

实验环境：ArcMap9.0

实验方法：

在 ArcMap9.0 中构建三块经纬网，范围分别为（0 °-4 °N，120 °-126 °E），（30 °-34 °N，120 °-126 °E），（60 °-64 °N，120 °-126 °），其中每小格均代表 0.1 °*0.1 °

由资料得知，高斯-克吕格投影中在中央经线左右各 0.05 °范围内，该范围内的经纬网格的平面可视为与地球球面完全相同。

因此，以 120.05 °、120.15 °、120.25°……125.95°分别为中央经线，计算出该中央经线所在经纬网格中每小格的面积，此面积视为该区域在地球表面的实际面积。

然后，分别使用以 123 °为中央经线 6 °分带的高斯-克吕格投影计算出经纬网格中每小格的面积，此面积视为高斯-克吕格投影地形图上所表示的该区域的面积。

同理，使用以赤道为标准纬线的 web 墨卡托投影计算出经纬网格中每小格的面积，此面积视为 web 墨卡托投影地形图上所表示的该区域面积。

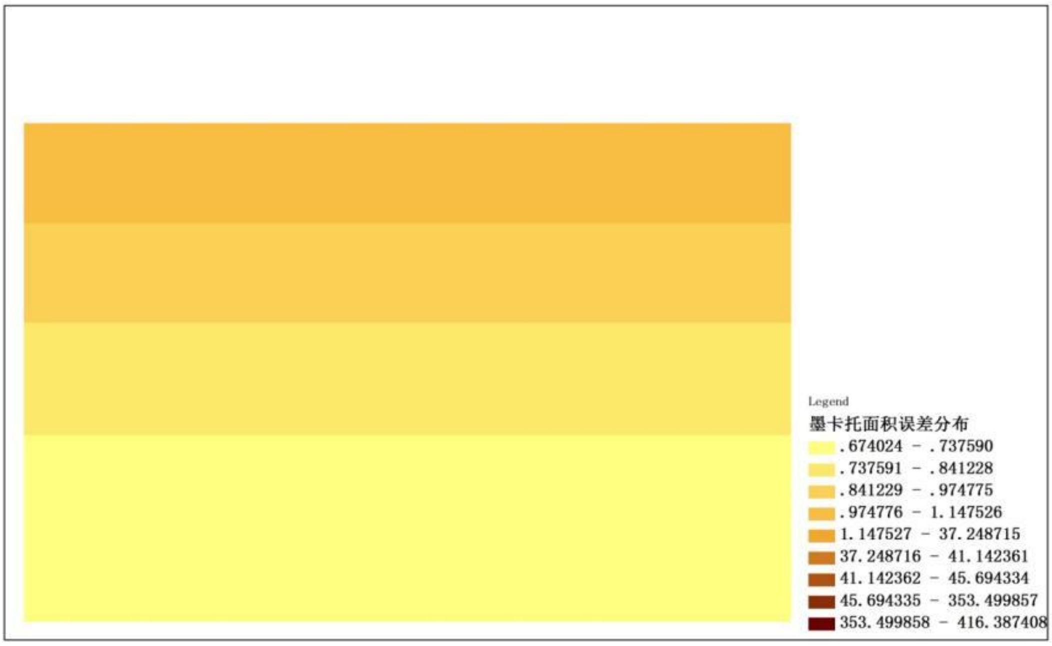
实验结果：

数据：经纬度格网_面积误差分布.xlsx

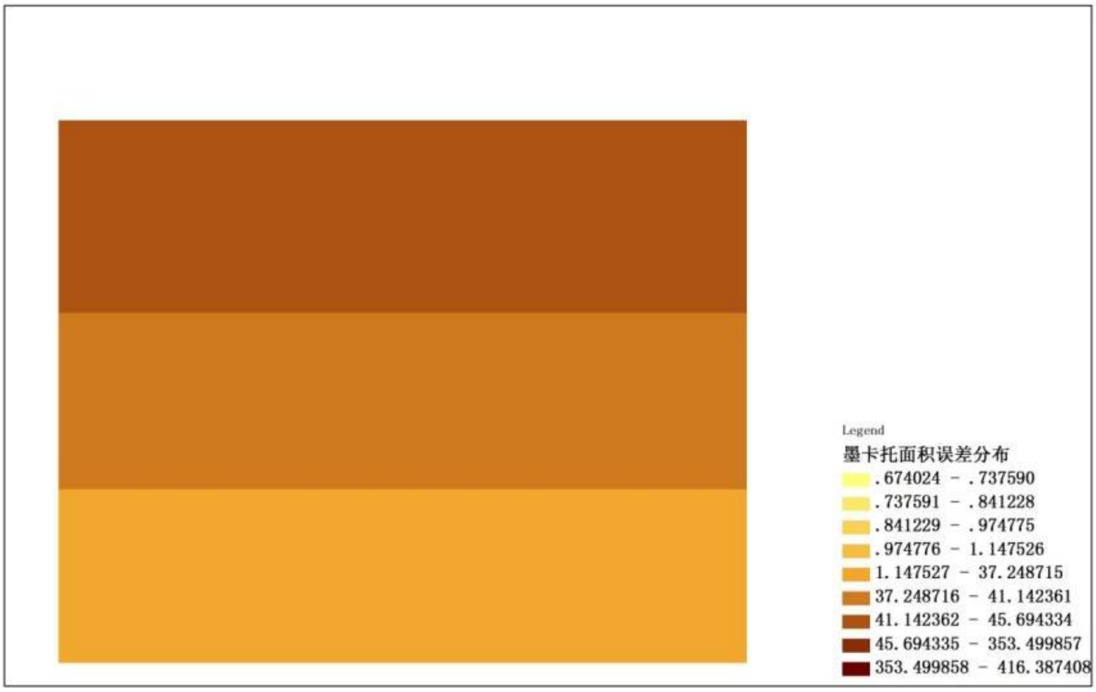
可视化图像：

误差均为相对误差，误差单位均为（%）

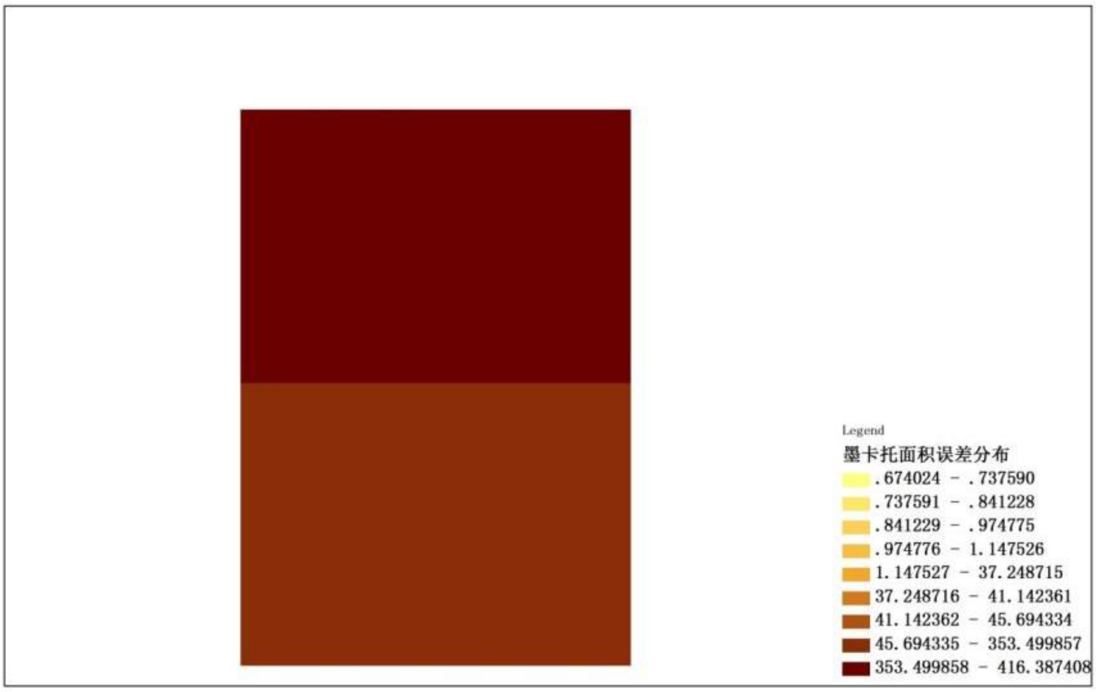
web 墨卡托投影低纬度面积误差分布（0 °-4 °N）：



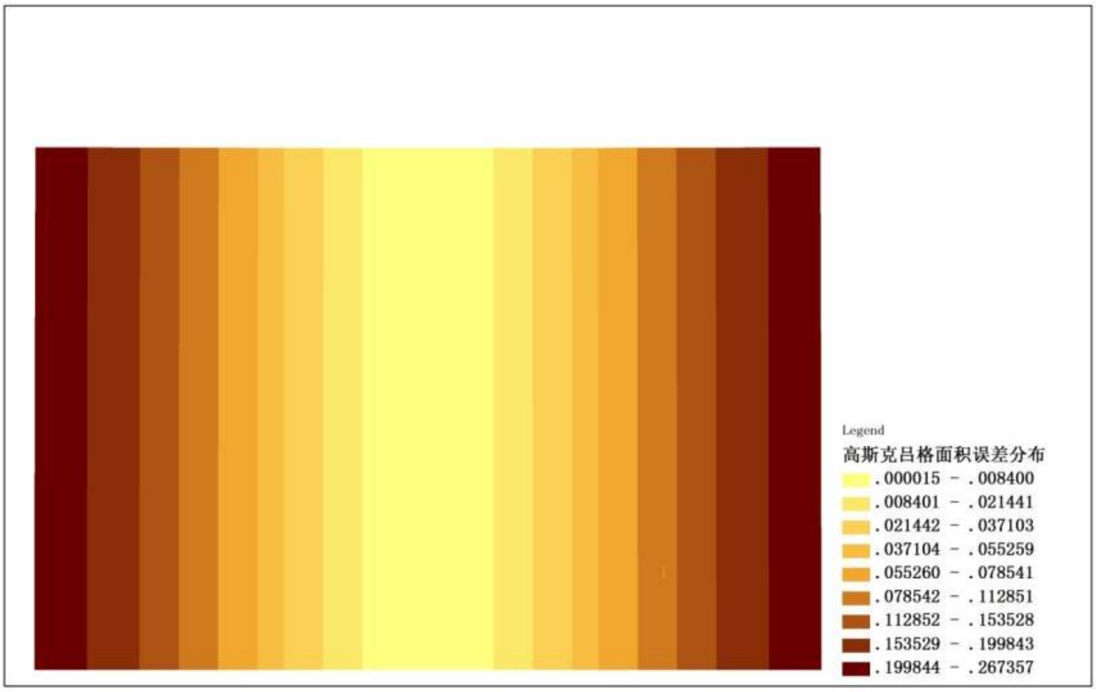
web 墨卡托投影中纬度面积误差分布（30 °-34 °N）：



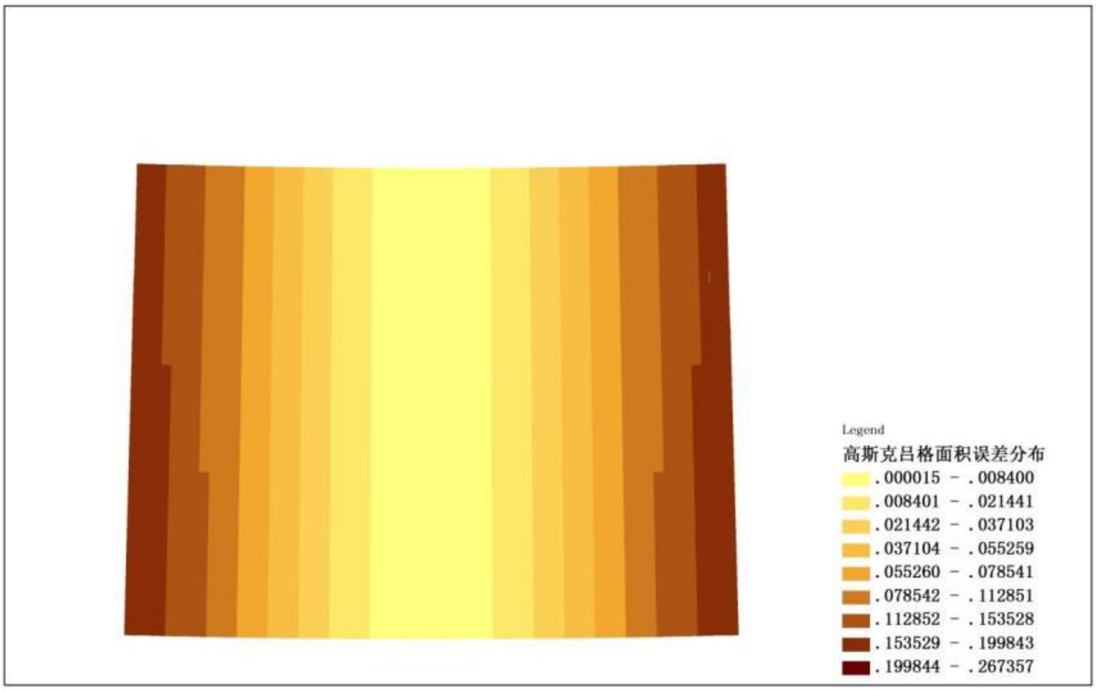
web 墨卡托投影高纬度面积误差分布（60 °-64 °N）：



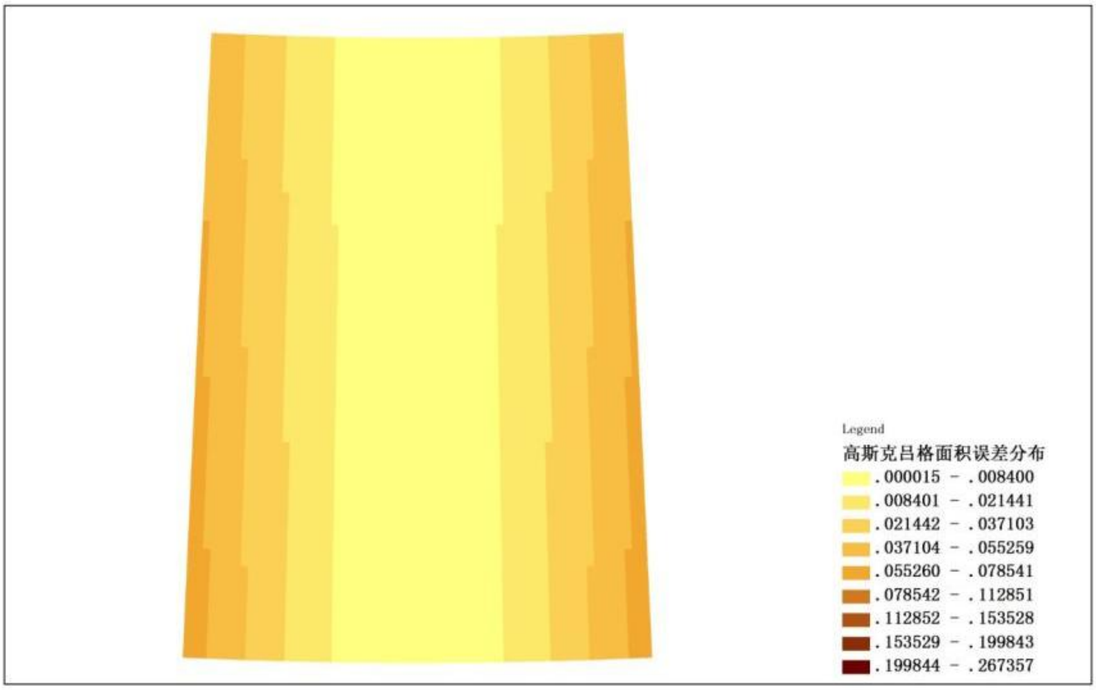
高斯-克吕格投影低纬度面积误差分布（0 °-4 °N）：



高斯-克吕格投影中纬度面积误差分布（30 °-34 °N）：



高斯-克吕格投影高纬度面积误差分布（60 °-64 °N）：



实验小结：

显而易见，无论是在低、中、高（0、30、60 °N）三个纬度带中的哪一个，高斯-克吕格投影减小误差的作用都非常明显。尤其是在高纬地区，高斯-克吕格投影的优势便更加明显，因为在这一地区 web 墨卡托投影的相对误差甚至达到了 300%以上，而高斯-克吕格投影依然非常有效地限制了误差。

在应用方面，全球一张图中，若量算的面积跨经度范围在 6 °以内，便可以直接转化为 6 °分带或更小度数分带的高斯-克吕格投影进行面积量算；若量算的面积跨经度范围在 6 °以上，则可将其划分为适量的多个跨经度范围在 6 °以下的区域，再分别在这些区域中分别使用地图投影变换，将 web 墨卡托投影变换至高斯-克吕格投影中进行面积量算后累加得到所求区域面积。

4.2.2.地图投影变换在角度量算中的应用

实验环境: ArcMap9.0

实验方法：

在 ArcMap9.0 中构建三块经纬网，范围分别为（0°-4°N，120°-126°E），（30°-34°N，120°-126°E），（60°-64°N，120°-126°），其中每小格均代表 0.1°*0.1°，并在每个经纬网格的小格中画出该小格的两条对角线。

由资料得知，常规的墨卡托投影为非常标准的等角圆柱投影，可以认为在使用常规的墨卡托投影所得的地形图上量算得到两条线所成的角度即为地球上那两条线实际所成的角度。此外，墨卡托投影，web 墨卡托投影，高斯-克吕格投影中赤道投影所在直线必与投影平面中的横坐标轴平行或重合。

因此，以赤道为标标准纬线，使用墨卡托投影所得平面分别计算出每一条所画的对角线与赤道的投影所在直线的夹角。因为部分对角线（斜率为负的对角线）在计算中所成角被当做了负角，因此用同一小格中的两个角度绝对值的和表示同一小格中两条对角线在地球表面实际所成的角度。

然后，使用以 123°为中央经线 6°分带的高斯-克吕格投影所得平面分别计算出每一条所画对角线与赤道的投影所在直线的夹角，此面积视为高斯-克吕格投影地形图上所表示的面积。因为部分对角线（斜率为负的对角线）在计算中所成角被当做了负角，因此用同一小格中的两个角度绝对值的和表示同一小格中两条对角线在高斯-克吕格投影中所成的角度。

同理，以赤道为标标准纬线，使用 web 墨卡托投影所得平面分别计算出每一条所画的对角线与赤道的投影所在直线的夹角。因为部分对角线（斜率为负的对角线）在计算中所成角被当作了负角，因此用同一小格中的两个角度绝对值的和表示同一小格中两条对角线在 web 墨卡托投影中所成的角度。

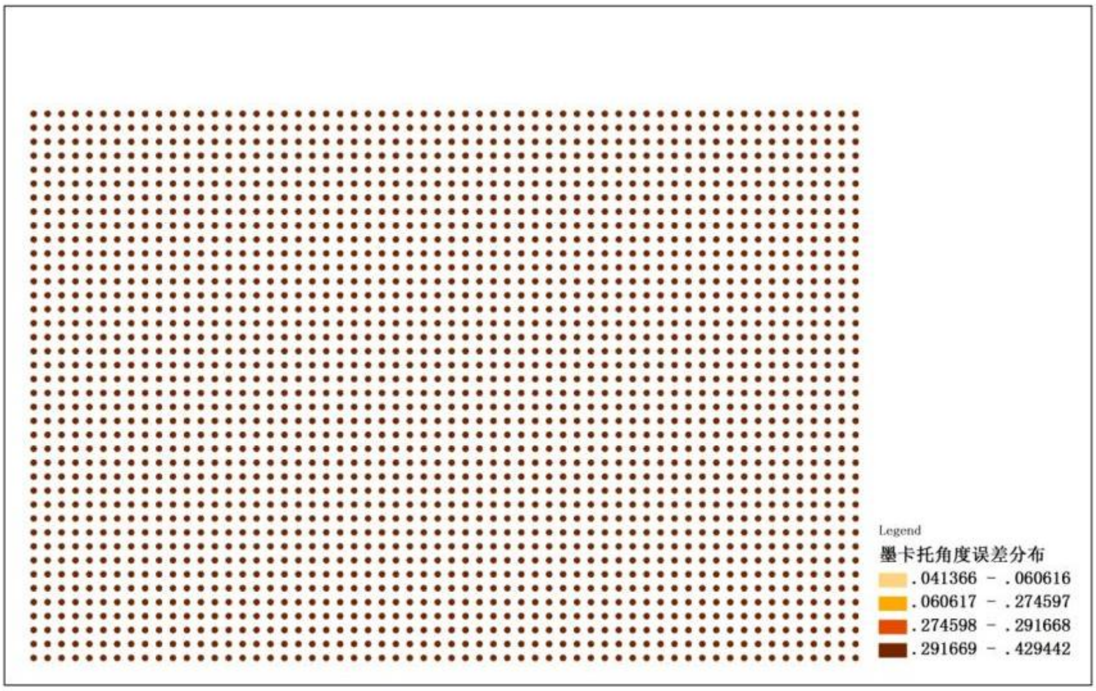
实验数据：经纬度格网_角度误差分布.xlsx

可视化图象：

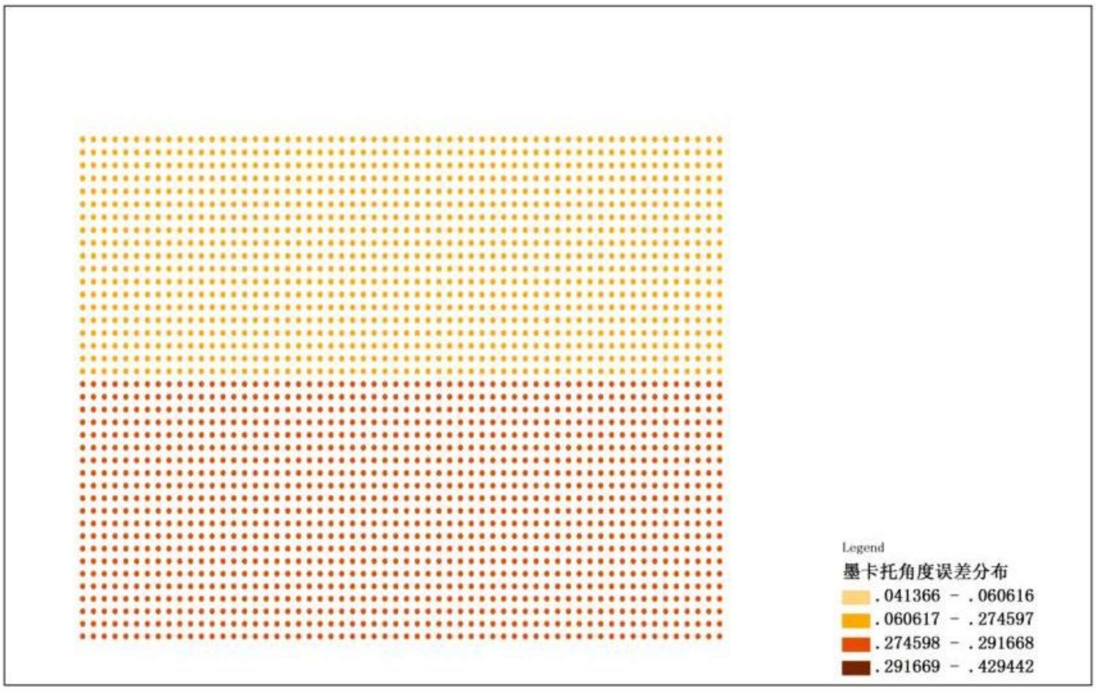
图像中每一个着色的区域都代表那个区域内两条对角线所成角的相对误差，不

同的颜色代表着相对误差值所在范围不同。误差单位均为（%）

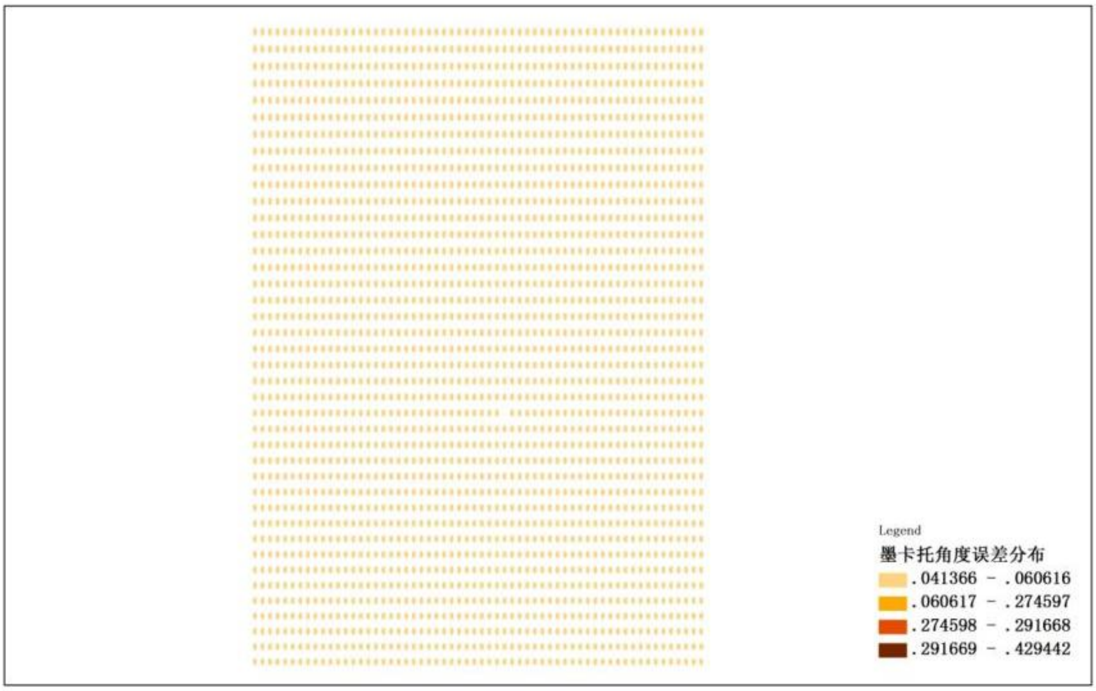
web 墨卡托投影低纬度角度误差分布（0 °-4 °N）：



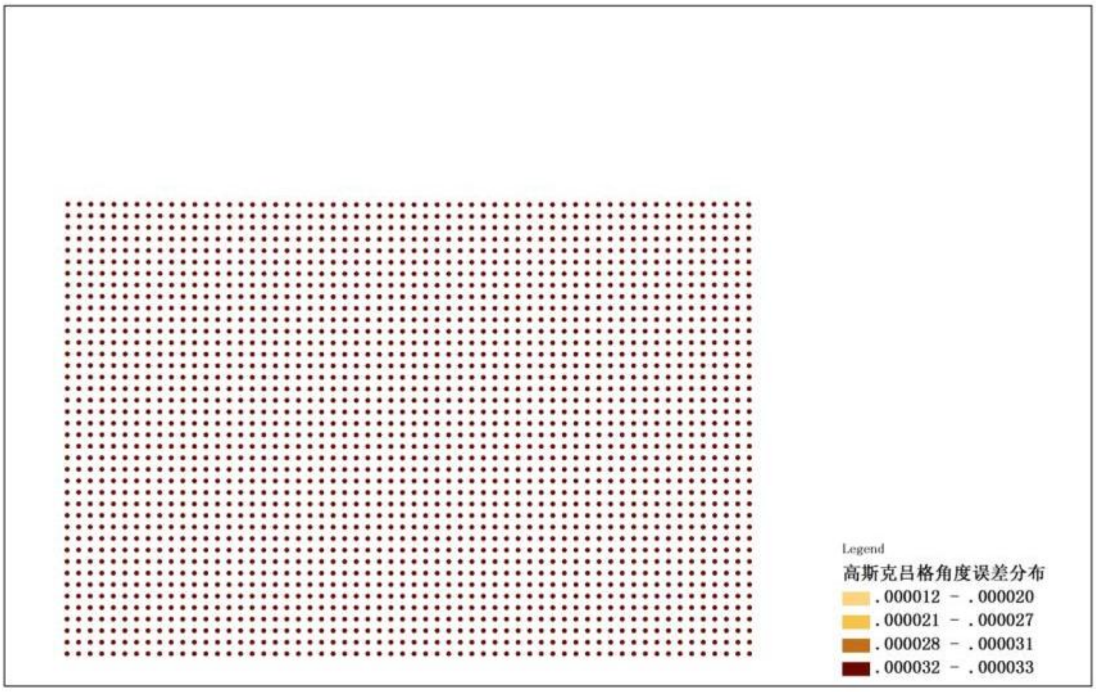
web 墨卡托投影中纬度角度误差分布（30 °-34 °N）：



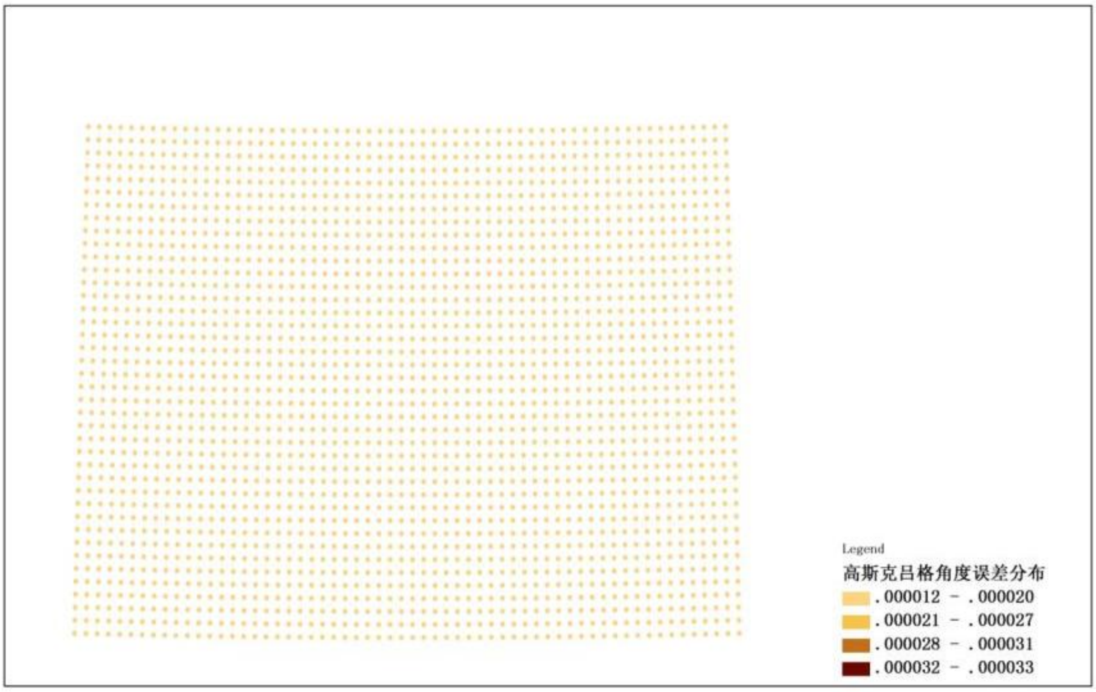
web 墨卡托投影高纬度角度误差分布（60 °-64 °N）：



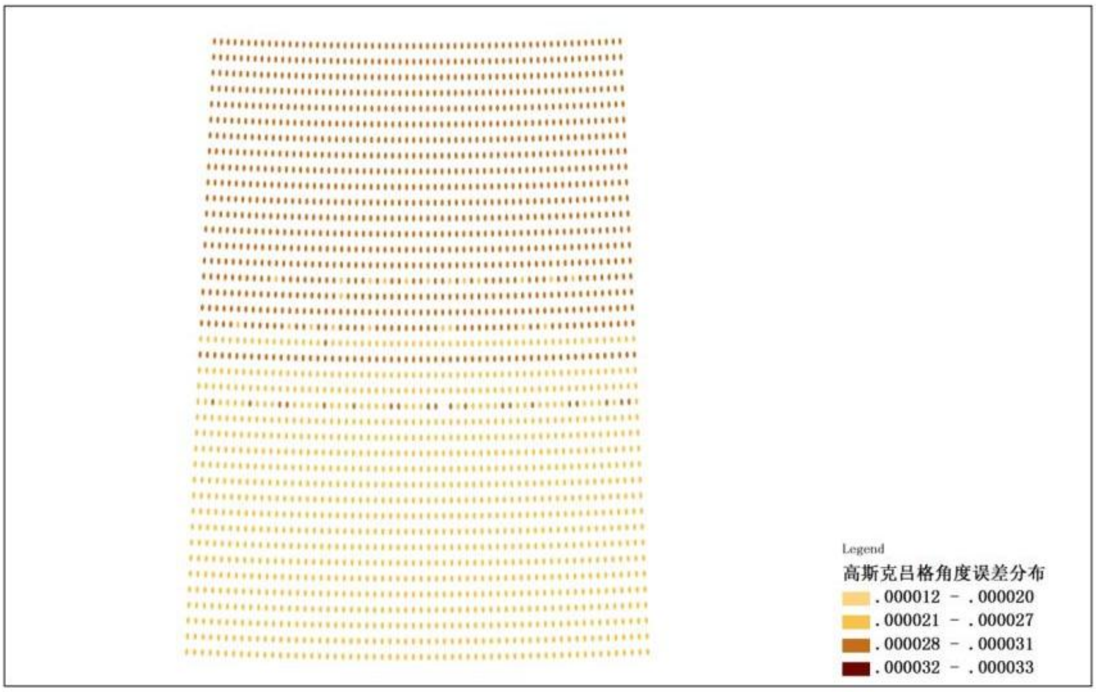
高斯-克吕格投影低纬度角度误差分布（0 °-4 °N）：



高斯-克吕格投影中纬度角度误差分布（30°-34°N）：



高斯-克吕格投影高纬度角度误差分布（60°-64°N）：



实验小结：

从以上数据不难看出，高斯-克吕格投影在角度量算方面有着非常巨大的优势，0.00001%数量级的误差几乎可以忽略不计。

对于高斯-克吕格投影高纬度数据图像中出现的颜色混杂现象我认为是正常的，因为毕竟高斯-克吕格投影的误差是 0.00001%数量级的，一点点微小的变化比如说四舍五入，比如说程序运算法则中的极其微小的误差……都可能导致这一点。此外，这两种颜色是代表两个相邻区间的，而且发生颜色混杂的位置处于两种颜色的交界处， 那些微小的变化完全有可能造成这一误差，不过无论如何，这 0.00001%数量级的误差都可以被归为没有误差那一类。

在全球一张图的量算中，使用 web 墨卡托投影和高斯-克吕格投影的相互转换可以做到消除误差。对于 web 墨卡托投影下的一个角，一定可以在构成它的两条射线上都分别截取一条线段，使得两条线段所跨经度在 6°以内，然后将其变换至高斯-克吕格投影中进行角度的量算，以此达到减小角度误差，甚至消除角度误差的目的。

4.2.3.地图投影变换在长度量算中的应用

实验环境: ArcMap9.0

实验方法：

在 ArcMap9.0 中构建三块经纬网，范围分别为（0°-4°N，120°-126°E），（30°-34°N，120°-126°E），（60°-64°N，120°-126°），其中每小格均代表 0.1°*0.1°

由资料得知，高斯-克吕格投影中在中央经线左右各 0.05°范围内，该范围内的经纬网格的平面可视为与地球球面完全相同。

因此，以 120.05°、120.15°、120.25°……125.95°分别为中央经线，计算出该中

央经线所在经纬网格中每小格的边线的长度，此长度视为该线段在地球表面的实际长度。

然后，分别使用以 123 °为中央经线 6 °分带的高斯-克吕格投影计算出经纬网格中每小格的边线的长度，此长度视为该线段在高斯-克吕格投影地形图上所表示的长度。

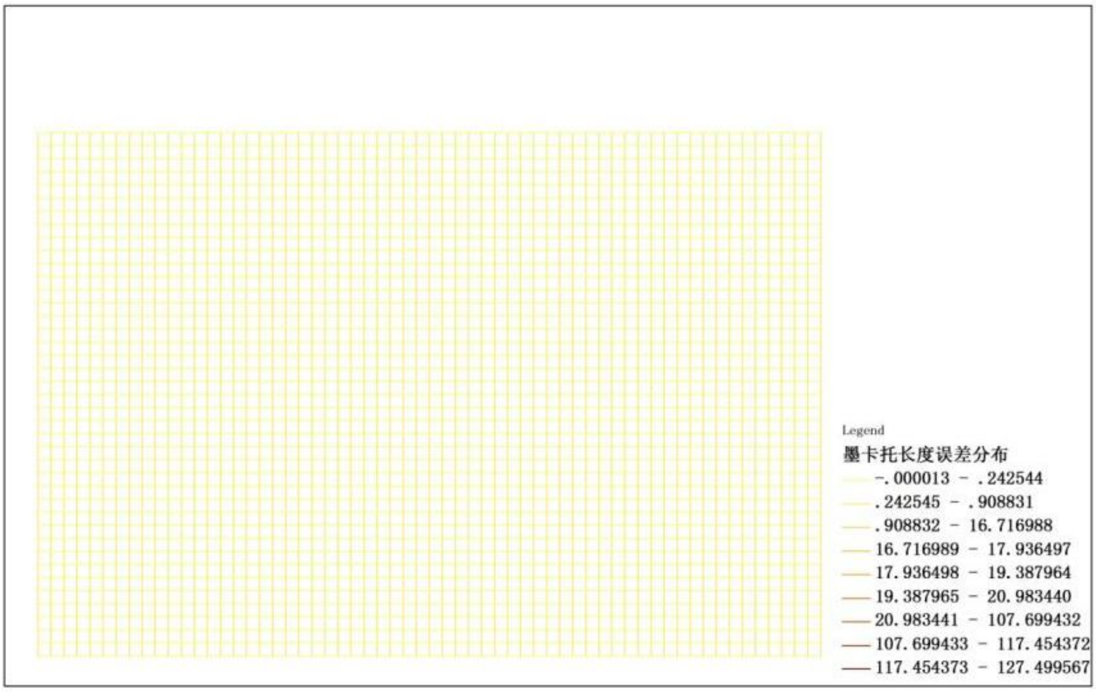
同理，使用以赤道为标准纬线的 web 墨卡托投影计算出经纬网格中每小格的边线的长度，此长度视为该线段在 web 墨卡托投影地形图上所表示的长度。

实验数据：经纬度格网_长度误差分布.xlsx

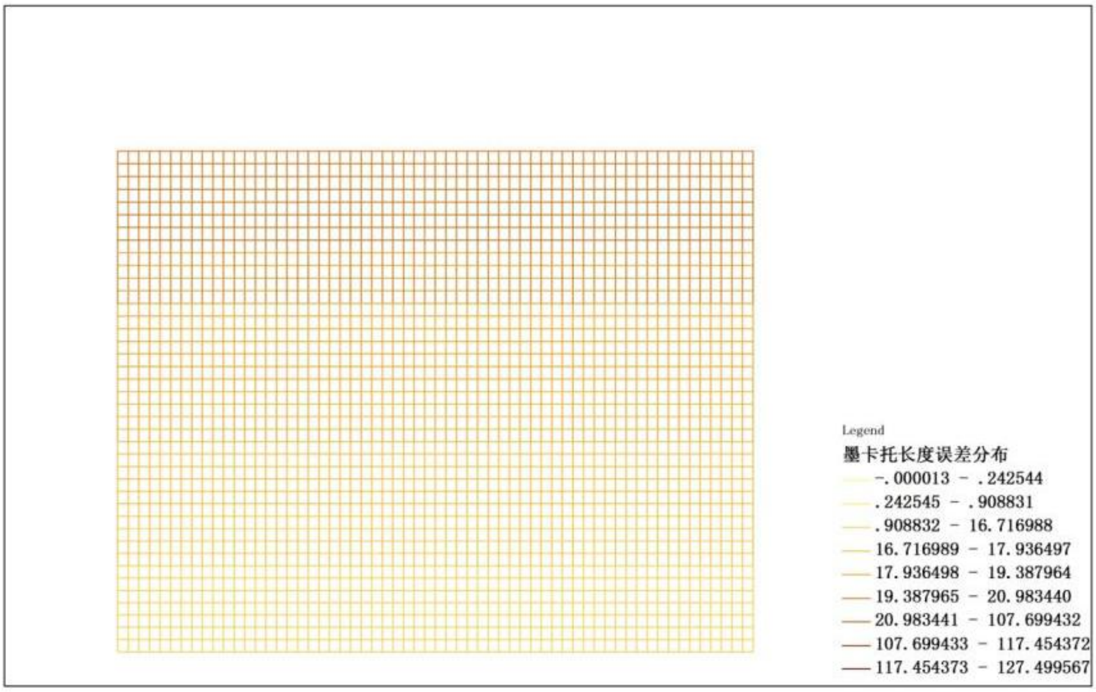
可视化图像：

误差单位均为（%）

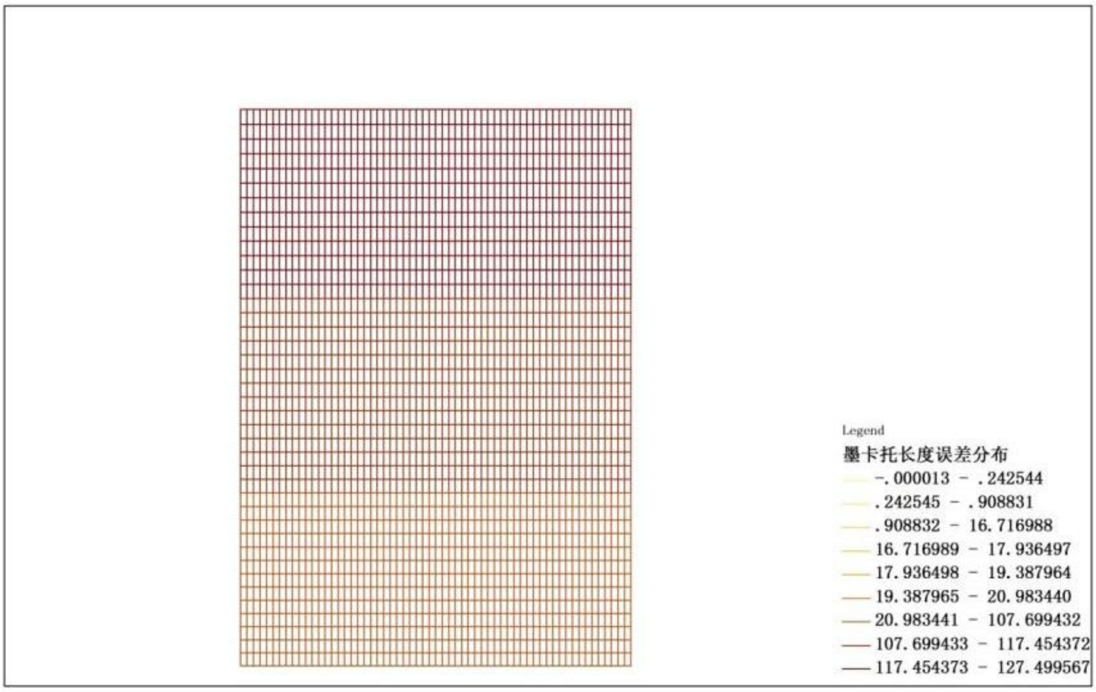
Web 墨卡托投影低纬度长度误差分布（0 °-4 °N）：



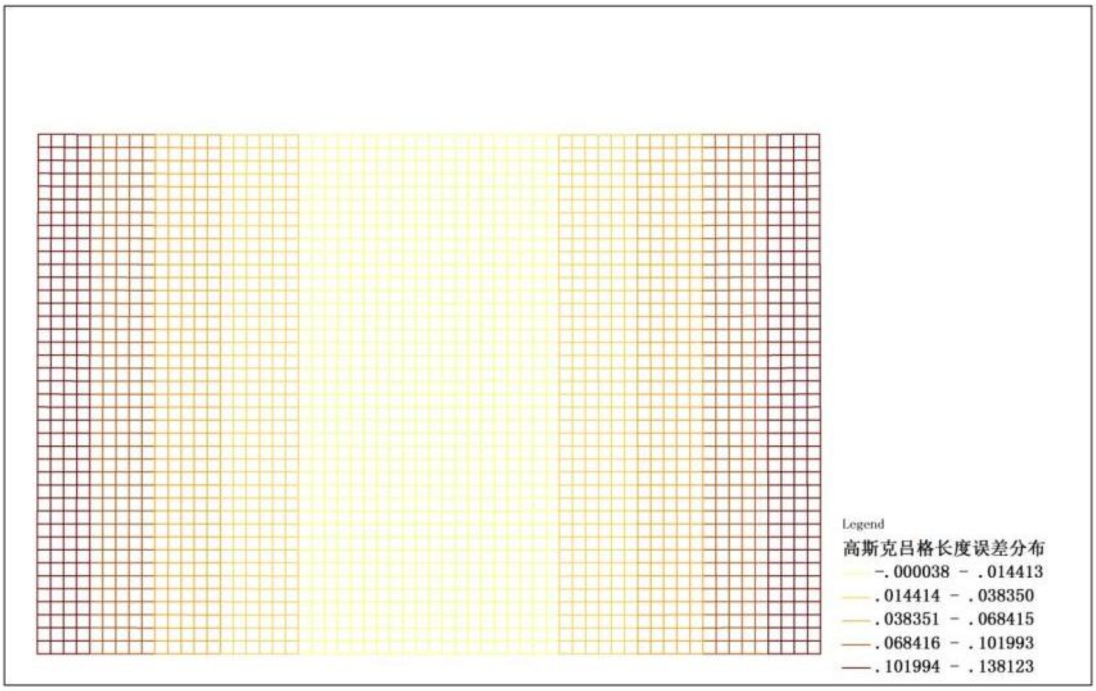
Web 墨卡托投影中纬度长度误差分布（30 °-34 °N）：



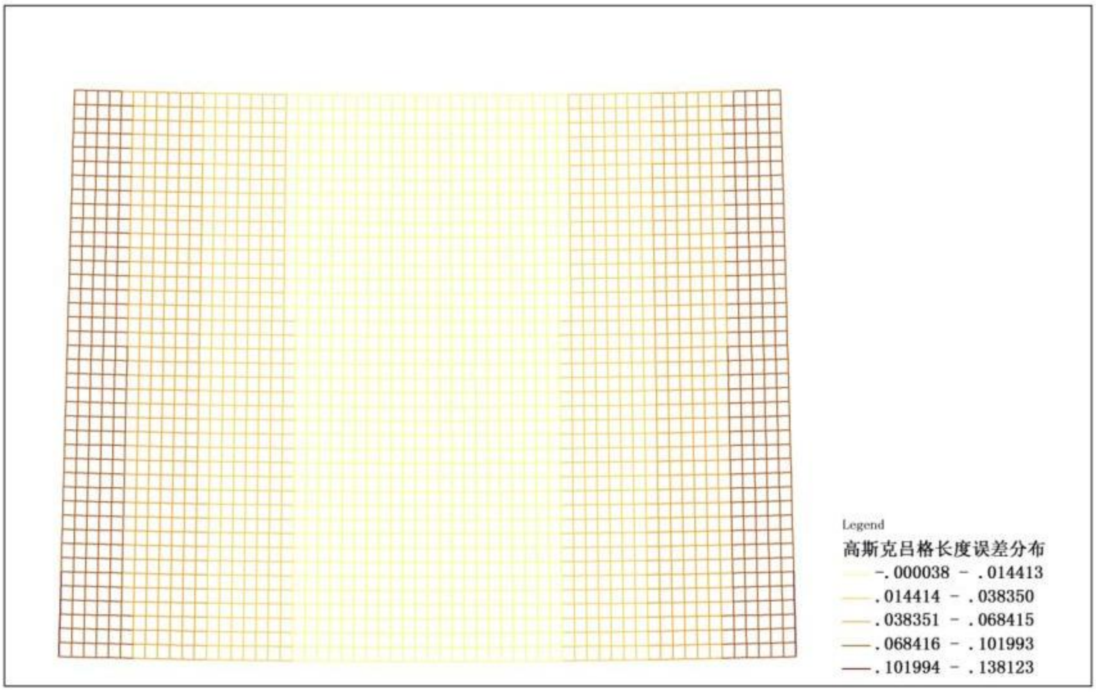
Web 墨卡托投影低纬度长度误差分布（60 °-64 °N）：



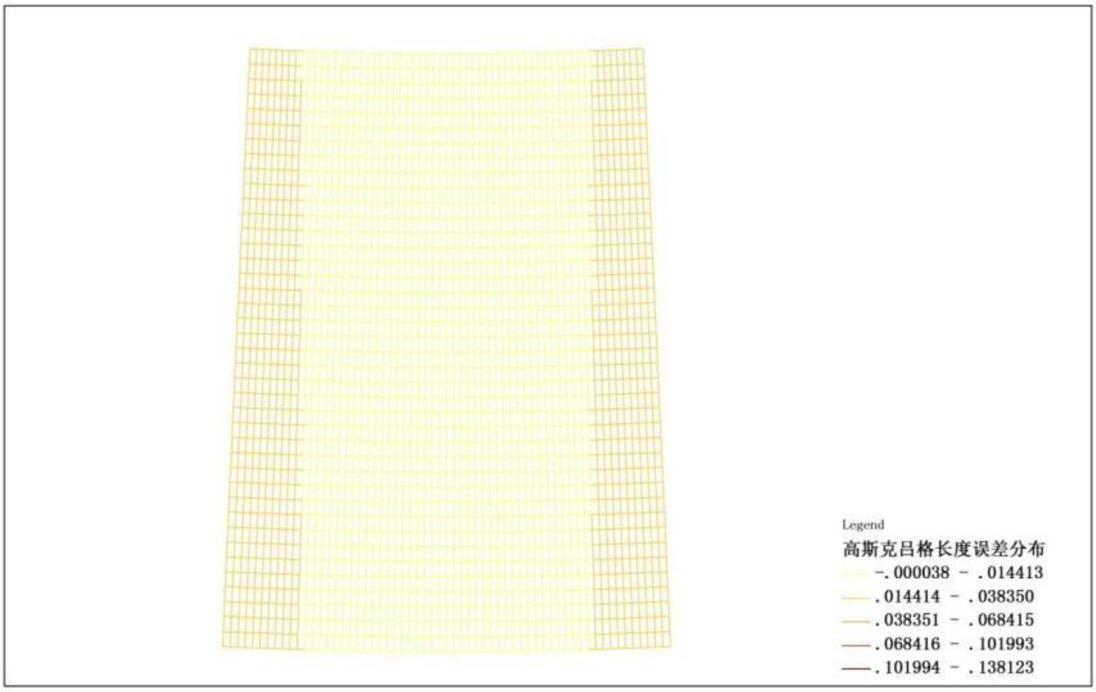
高斯-克吕格投影低纬度长度误差分布（0 °-4 °N）：



Web 墨卡托投影中纬度长度误差分布（30 °-34 °N）：



Web 墨卡托投影高纬度长度误差分布（60 °-64 °N）：



实验小结：

从数据和图像中我们发现，长度的误差分布与面积的误差分布出奇的相似：高斯-克吕格投影均为距离中央经线距离越远变形越大，而不是距离中央经线经差越大变形越大，而 web 墨卡托投影则是两级纬度越高变形越大，这也从实验的角度验证了有关这两种投影的介绍。

在高纬度地区，高斯-克吕格投影的优势展露无遗，相较于 web 墨卡托投影 100%多的长度变形，高斯-克吕格投影最高不过 0.14%的变形简直太精确了，这也说明了地图投影变换的有效性。

在应用方面，由于规律和面积类似，我们认为应用方法也应与面积类似：全球一张图中，若量算的长度跨经度范围在 6 °以内，便可以直接转化为 6 °分带或更小度数分带的高斯-克吕格投影进行长度量算；若量算的长度跨经度范围在 6 °以上，则可将其划分为适量的多个跨经度范围在 6 °以下的区域，再分别在这些区域中分别使用地图投影变换，将 web 墨卡托投影变换至高斯-克吕格投影中进行长度量算

后累加得到所求线段长度。

实验总结：

从以上数据不难发现，由于 web 墨卡托投影各方面的变形，在其投影所得的地形图上直接进行量算所得的结果是极为不准确的，而使用地图投影变换进行量算便可以得到较为准确的结果。那么显而易见的是，在 web 墨卡托投影所得的全球一张图上同样可以通过地图投影变换进行量算以获得更为精确的结果。因此，使用地图投影变换来解决使用 web 墨卡托投影所得的全球一张图的变形是非常可行且有效的。

五、结论

通过以上的计算验证，我们可以证明地图投影变换在全球一张图量算中的巨大优势，即在制作全球一张图时发挥 web 墨卡托投影可以无缝拼接以及计算量较小的优点；在进行量算时使用高斯-克吕格投影以减小误差，增加测量精确度。显而易见，灵活地运用地图投影变换将可以大幅增强全球一张图的实用程度，使其更加符合数字地球的理念，而寻找增强全球一张图实用程度（如可实现精确量算等）的方法正是我们研究的目的。

在计算机技术高度发展的今天，快速完成大量的投影坐标转换已经不是梦想，因而我们可以同时利用每种投影的优势，当我们使用 web 墨卡托投影查看全球一张图时，我们可以在高斯-克吕格投影来下量算面积、长度与角度，甚至我们还可以在其他的等距、等积投影来下更精确地量算某一地区的地理信息。这个过程可以在应用地图投影变换的原理在电脑或者平板电脑上通过编写软件来实现。如此一来，各个投影从不同角度（即每种投影的特性）来展现的地理信息可以让我们最大程度的了解选定区域。与此同时，通过地图投影变换在全球一张图中实现多种地理信息量算的方法也体现了数字地球的理念——将全球的地理信息进行整合。既然硬件条件已经允许我们实施地图投影变换，那么这样一种既简便又完美符合数字地球理念的方法我们何乐而不为呢？

参考文献:

1. 张宏、温永宁、刘爱利等.《地理信息系统算法基础》 科学出版社 2006

2. 戴勤奋.《谷歌地图与开放式 API 和 WEB 墨卡托投影》青岛海洋地质研究所 2012

3. 《ArcGIS 操作手册》官方说明书

4．辽宁工程技术大学杨欢，本科毕业论文，《地图投影转换类的设计与研究》2011